

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09191160 A**(43) Date of publication of application: **22.07.97**

(51) Int. Cl.

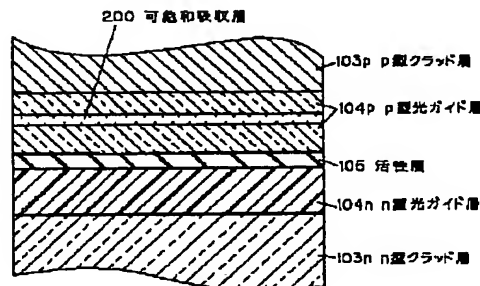
**H01S 3/18**  
**H01L 33/00**
(21) Application number: **08027522**(22) Date of filing: **15.02.96**(30) Priority: **06.11.95 JP 07286940**(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**
(72) Inventor:  
**KUMABUCHI YASUHIITO**  
**KIDOGUCHI ISAO**  
**ADACHI HIDETO**  
**KUME MASAHIRO**  
**ISHIBASHI AKIHIKO**

## (54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a semiconductor laser having stabilized self oscillation characteristics.

**SOLUTION:** An n-type GaN layer, an n-type AlGaIn clad layer 103n, an n-type GaN optical guide layer 104n, an InGaIn quantum well active layer 105, a p-type GaN optical guide layer 104p, a p-type AlGaIn clad layer 103p, a p-type GaN contact layer 105 are formed sequentially on an n-type SiC substrate. An InGaIn saturable absorption layer 200 is formed in the p-type GaN optical guide layer 104p. In this structure, the saturable absorption layer is provided in the optical guide layer while reducing the volume. The smaller the volume of saturable absorption layer, the easier the carrier density can be increased to bring about a saturated state thus exhibiting significant effect of saturable absorption. This structure realizes stabilized self oscillation characteristics.



COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-191160

(43) 公開日 平成9年(1997)7月22日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

H01S 3/18

H01L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H01S 3/18

H01L 33/00

技術表示箇所

C

審査請求 有 請求項の数21 O L (全13頁)

(21) 出願番号 特願平8-27522

(22) 出願日 平成8年(1996)2月15日

(31) 優先権主張番号 特願平7-286940

(32) 優先日 平7(1995)11月6日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 熊淵 康仁

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 木戸口 勲

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 足立 秀人

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

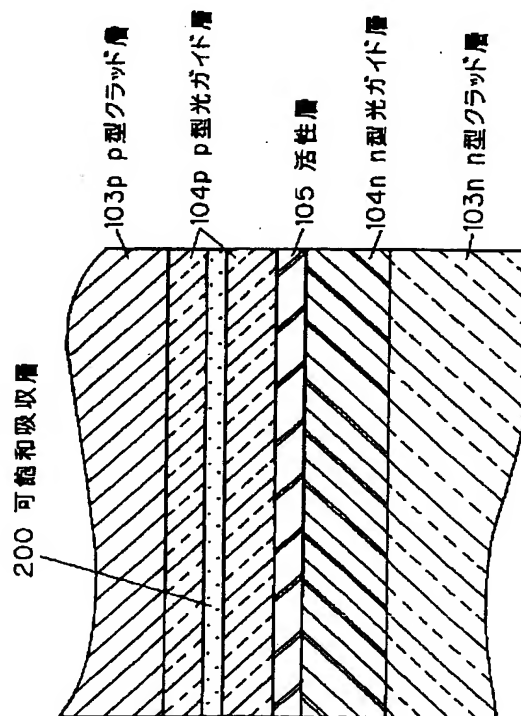
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 安定な自励発振特性を有する半導体レーザを提供する。

【解決手段】 n型SiC基板101上に、n型GaN層102、n型AlGaNクラッド層103n、n型GaN型光ガイド層104n、InGaN量子井戸活性層105、p型GaN光ガイド層104p、p型AlGaNクラッド層103p、p型GaNコンタクト層105が順次形成されている。さらに、p型光ガイド層104p中には、InGaN可飽和吸収層200が形成されている。この構造では、可飽和吸収層の体積を小さくすると同時に光ガイド層中に可飽和吸収層を設けている。可飽和吸収層の体積を小さくするほど、キャリア密度を容易に上げることができ、飽和状態になりやすく、可飽和吸収の効果が顕著となる。これにより、安定した自励発振特性が得られる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】活性領域は、窒化ガリウム系化合物半導体により構成され、自励発振特性を有することを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】少なくとも活性層と、可飽和吸収層とを備え、前記活性層が窒化ガリウム系化合物半導体により構成され、自励発振特性を有することを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 3】前記可飽和吸収層が窒化ガリウム系化合物半導体により構成され、自励発振特性を有することを特徴とする請求項 2 に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】前記可飽和吸収層の基底準位間のエネルギーギャップが、前記活性層の基底準位間のエネルギーギャップよりも、 $20 \sim 180 \text{ meV}$  小さいことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】前記活性層は井戸層を含み、前記井戸層および前記可飽和吸収層が、ともに量子井戸であることを特徴とする請求項 2、3 または 4 に記載の半導体発光素子。

【請求項 6】前記活性層が多重量子井戸構造であることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 7】少なくとも活性層と、前記活性層に隣接した光ガイド層と、前記活性層および前記光ガイド層を挟む 1 対のクラッド層と、可飽和吸収層とを備え、前記可飽和吸収層は、前記少なくとも 1 つのクラッド層中、または前記光ガイド層中に形成され、さらに前記活性層が窒化ガリウム系化合物半導体により構成され、自励発振特性を有することを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 8】前記可飽和吸収層が窒化ガリウム系化合物半導体により構成され、自励発振特性を有することを特徴とする請求項 7 に記載の半導体発光素子。

【請求項 9】前記可飽和吸収層の基底準位間のエネルギーギャップが、前記活性層の基底準位間のエネルギーギャップよりも、 $20 \sim 180 \text{ meV}$  小さいことを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の半導体発光素子。

【請求項 10】前記活性層は井戸層を含み、前記井戸層および前記可飽和吸収層が、ともに量子井戸であることを特徴とする請求項 7、8 または 9 に記載の半導体発光素子。

【請求項 11】前記活性層が多重量子井戸構造であることを特徴とする請求項 7 ～ 10 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 12】基板上に、 $\text{InGaInN}$  活性層と、前記活性層を挟む 1 対の  $\text{AlGaInN}$  光ガイド層と、前記光ガイド層を挟む 1 対の  $\text{AlGaInN}$  クラッド層と、前記光ガイド層または前記クラッド層中に配置された可飽和吸収層とを備え、前記可飽和吸収層は、前記活性層から光を吸収するとともに、光の吸収量が飽和する特性をもつことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 13】前記基板がシリコンカーバイドまたはサファイアであることを特徴とする請求項 12 に記載の半導体発光素子。

【請求項 14】活性層と、前記活性層上の第 1 の p 型クラッド層と、前記 p 型クラッド層に隣接した可飽和吸収層と、前記可飽和吸収層上に設けられた第 2 の p 型クラッド層とを備え、前記第 2 の p 型クラッド層はリッジ形状になっており、その両側には、n 型の電流ブロック層が設けられており、前記第 2 の p 型クラッド層の屈折率が、前記電流ブロック層よりも大きいことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 15】活性層と、前記活性層を挟む p 型クラッド層および n 型クラッド層と、前記 n 型クラッド層中に設けられた可飽和吸収層とを備え、前記 p 型クラッド層はリッジ形状になっており、その両側には、n 型の電流ブロック層が設けられており前記 p 型クラッド層の屈折率が、前記電流ブロック層よりも大きいことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 16】活性層と、前記活性層上の第 1 の p 型クラッド層と、前記 p 型クラッド層に隣接した可飽和吸収層と、前記可飽和吸収層上に設けられた電流ブロック層とを備え、前記電流ブロック層には、開口部があり、その開口部には、第 2 の p 型クラッド層が設けられており、前記第 2 の p 型クラッド層の屈折率が、前記電流ブロック層よりも大きいことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 17】活性層と、前記活性層を挟む p 型クラッド層および n 型クラッド層と、前記 n 型クラッド層中に設けられた可飽和吸収層とを備え、前記電流ブロック層には開口部があり、その開口部には、第 2 の p 型クラッド層が設けられており、前記第 2 の p 型クラッド層の屈折率が、前記電流ブロック層よりも大きいことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 18】傾斜基板のへき開方法において、基板の面方位がジャスト面の面方位から傾いている方向へ応力をかけて基板をへき開することを特徴とする傾斜基板のへき開方法。

【請求項 19】面方位が  $[0001]$  方向から  $[11-20]$  方向へ傾斜している結晶のへき開方法において、 $[11-20]$  方向へ応力をかけることで前記結晶をへき開することを特徴とする結晶のへき開方法。

【請求項 20】結晶が、 $\text{SiC}$  である請求項 19 に記載のへき開方法。

【請求項 21】面方位が  $[0001]$  から  $[11-20]$  方向へ傾斜した  $\text{SiC}$  基板上に、半導体多層膜を堆積する工程と、前記基板を  $[11-20]$  方向へ応力をかけて前記基板をへき開する工程とを有する半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ディスクシステ

ムの光源などに用いられる自励発振型の半導体発光素子に関するものである。

#### 【 0 0 0 2 】

【従来の技術】近年、光情報処理分野においては、特に波長が780nmのAlGaAs系半導体レーザの光による情報の記録・再生を行う方式が実用化され、コンパクトディスク等で広く普及するに至り、さらに最近になって、これらの光ディスク装置に益々記憶容量の増加が求められるようになってきており、それに伴い短波長のレーザの要望が強まってきている。

【 0 0 0 3 】ところで、半導体レーザは光ディスクの再生時に、ディスク面からの反射光の帰還や温度の変化により強度雑音を発生し、信号の読取エラーを誘発する。したがって光ディスクの光源用には強度雑音の少ないレーザが不可欠となる。そのために、縦モードをマルチ化することで、雑音を低減することが図られている。レーザが縦単一モードで発振しているときには、光の帰還や温度変化等の外乱が入ると利得ピークの微少な変化によって、近接する縦モードが発振を開始し、元の発振モードとの間で競合を起こし、これが雑音の原因となるからである。そこで、縦モードをマルチ化すると、各モードの強度変化が平均化され、しかも外乱によって変化しないので安定な低雑音特性を得ることができるようになる。

【 0 0 0 4 】従来の自励発振型の半導体レーザとしては、特開平6-260716号公報に示されるものがある。このレーザは、活性層のエネルギーギャップと吸収層のエネルギーギャップをほぼ等しくすることによって特性を改善したと報告がなされている。特に、歪量子井戸活性層のエネルギーギャップと歪量子井戸可飽和吸収層のそれがほぼ等しくなっている。この構成によって良好な自励発振特性を得ようとしている。

#### 【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】光ディスクにさらに高密度記録をするには、半導体レーザの短波長化が望まれる。それは波長を半分にすれば記録密度が4倍にもなるからである。しかし、現在の青色の波長域を有する発光素子（例えば、特開平4-242985号公報、特開平7-162038号公報）では、前述したように、低雑音化の対策がなされておらず、このような半導体発光素子を、光ディスクの再生に用いても、ディスク面からの反射光の帰還や温度の変化により強度雑音を発生し、信号の読取エラーを誘発し、実用に耐えないものでしかない。

【 0 0 0 6 】そこで本発明は、バンドギャップの大きい窒化ガリウム系化合物半導体を用いて短波長化を図り、さらに可飽和吸収層を設けることで、低雑音特性に有効な自励発振特性をもつ半導体発光素子を提供することを目的とする。

#### 【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明の半導体発光素子は、活性層に窒化ガリウム系化合物半導体を用い、自励発振特性を有するものである。また、可飽和吸収層と活性層との基底準位間のエネルギーギャップを制御することにより、安定した自励発振特性を有するものである。

【 0 0 0 8 】また、InGa<sub>N</sub>活性層と、活性層を挟む一対のAlGaInN光ガイド層と、光ガイド層を挟む一対のAlGaInNクラッド層と、光ガイド層またはクラッド層中に配置された可飽和吸収層とを備え、可飽和吸収層は、活性層から光を吸収するとともに、光の吸収量が飽和する特性をもつものである。

【 0 0 0 9 】本発明では、活性層に窒化ガリウム系化合物半導体を用いることにより、発振波長を短波長化する。そして、可飽和吸収層を光ガイド層中またはクラッド層中に配置することで、活性層からの光をこの可飽和吸収層で吸収させることができ、さらに光の吸収も飽和させることにより、自励発振を起こさせることができる。ここで「可飽和」とは、光を多く吸収すると、ある量以上の光を吸収しなくなる、ということである。

【 0 0 1 0 】さらに、可飽和吸収層と活性層とのエネルギーギャップ差を、20meVから180meVとすることで、可飽和吸収層がレーザ光を効率よく吸収するとともに、光の吸収も飽和するため、安定した自励発振が得られることが明らかとなった。20meVより小さければ自励発振は得られない。これはエネルギーギャップの差が小さいため、可飽和吸収層があまりレーザ光を吸収しないためであると考えられる。また、エネルギーギャップ差が180meVを越えると、可飽和吸収層での光吸収が大きくなりすぎ、可飽和吸収層が飽和特性を示さなくなるので、自励発振が起こらない。したがって、エネルギーギャップ差は20～180meVがよいことがわかった。

【 0 0 1 1 】さらに詳しい検討では、エネルギーギャップが、特に50meV～100meVの範囲では、可飽和吸収層の飽和条件が最適となる。エネルギーギャップの差が100meVを越えると、可飽和吸収層での光吸収がだんだん大きくなり、動作電流もやや大きくなる。よってエネルギーギャップ差は100meV以下であれば好ましいといえる。50～100meVの範囲では、半導体レーザの動作電流が大きくなりえない上に、温度変化に対して安定な自励発振特性が得られる。

【 0 0 1 2 】また、可飽和吸収層の体積を小さくすると、可飽和吸収層でのキャリア密度を容易に上げられる。活性層が放出したレーザ光を可飽和吸収層が吸収し、電子とホールペアを生じるが、可飽和吸収層の体積が小さいと、単位体積あたりの光の吸収量が増加し、このキャリア密度を容易に上げることができる。そして飽和状態になりやすく、可飽和吸収の効果が顕著となる。したがって、強く安定な自励発振特性を得ること

ができる。

【0013】さらに半導体レーザは、この体積の小さい可飽和吸収層を光ガイド層中に配置した構成にもできる。光ガイド層中に設ける理由は、可飽和吸収層を量子井戸層のように体積を小さくした場合、膜厚が薄くなるため光の閉じ込め率が極端に減少し、その結果、安定な自励発振でなくなる可能性もあるからである。そこで、可飽和吸収層を光ガイド層中に配置して閉じ込め率を増加させる。この構造を用いると、活性層への光閉じ込め率が、0.5%以上の場合、可飽和吸収層への閉じ込め率を、少なくとも1.2%程度以上にすると自励発振を生じることが可能となる。可飽和吸収層を量子井戸にした場合、その膜厚が薄く、体積が小さくとも、光ガイド層中に配置することにより、可飽和吸収層へ有効な光閉じ込めができるので、この構造を導入することにより安定した自励発振を実現できる。

【0014】このように可飽和吸収層は光ガイド層中に形成してもよいし、当然、クラッド層中に形成してもよい。どの位置に可飽和吸収層を設定するかは、可飽和吸収層の体積および光閉じ込めを考慮して決めればよい。

【0015】また、可飽和吸収層は、p型光ガイド層、p型クラッド層、さらにはn型光ガイド層、n型クラッド層中に形成してもよい。

【0016】本発明の説明で使用している「エネルギーギャップ差」とは、基底準位間のエネルギー差をとっている。活性層が量子井戸層を含む場合は、伝導帯と価電子帯の底ではなく、量子準位間のエネルギー差を言うので、バンドギャップの差よりも大きい。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施例について説明する。

【0018】（実施の形態1）図1は本発明の半導体レーザの構成断面図である。本実施例の半導体レーザの構成は、(100)面のn型SiC基板101上に、シリコンをドーピングしたn型のAlNバッファ層102、n型AlGaInクラッド層103n、n型GaIn光ガイド層104n、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N量子井戸活性層105（厚み100Å）、p型GaIn光ガイド層104p、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層103p、p型GaInコンタクト層106が順次形成されている。AlGaIn層のn型のドーパントはSiであり、p型のドーパントはMgである。

【0019】さらに、p型クラッド層103p中には、p型In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N可飽和吸収層100が50Å形成されている。可飽和吸収層の格子定数はクラッド層よりも大きいが臨界膜厚以下に設定されているので、転位の発生はない。コンタクト層上にはp型電極111としてPtが、SiC基板101側にはn型電極110としてInがそれぞれ形成されている。

【0020】図1示すこのレーザ構造は、厚さ500μ

mの(100)SiC基板上に、MOCVD法により作製する。n型AlNバッファ層はSiドーパで3μm成長し、n型クラッドもSiドーパで0.5μm、n型光ガイド層もSiドーパで0.1μmの膜厚である。p型クラッド層およびp型光ガイド層もそれぞれ0.5μm、0.1μmの厚さであり、ドーパントはMgを用いている。

【0021】可飽和吸収層は、p型クラッド層中に形成されている。活性層からのレーザ光は、活性層よりも40meVエネルギーギャップの小さいこの可飽和吸収層により、吸収される。可飽和吸収層は、レーザ光を効率よく吸収するとともに、光の吸収も飽和するため、安定した自励発振が得られるようになる。

【0022】自励発振を安定に起こさせるための要点は、活性層の量子井戸層と可飽和吸収層とのエネルギーギャップ差である。図2にこのレーザ構造のバンドダイアグラムを示す。実施例1では、活性層より可飽和吸収層のエネルギーギャップ差が40meV小さく、安定した自励発振が得られる。p型クラッド層103p中に可飽和吸収層100がある。

【0023】ここで活性層の量子井戸層と可飽和吸収層とのエネルギーギャップ差とは、活性層に量子井戸層を用い、可飽和吸収層も量子井戸構造となっているので、その差は、レーザ発振前の基底準位のエネルギーギャップ差としている。

【0024】本発明の半導体レーザでは、可飽和吸収層のドーピングレベルを $5 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ として、キャリアの寿命時間を低減している。その結果、キャリアの時間変化率に対する自然放出の寄与が増大し、自励発振を容易に生じることができる。ドーピングは、 $5 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 以上あれば、キャリアの寿命時間を低減する効果がある。

【0025】さらに不純物濃度を上げ、 $1 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 以上にすれば、キャリアの寿命がさらに短くなり、安定した自励発振特性を得ることができる。可飽和吸収層の不純物濃度を $1 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 以上にすれば、可飽和吸収層と活性層とのエネルギーギャップ差は、ゼロか、または、可飽和吸収層の方が小さければよい。

【0026】さらに基板をシリコンカーバイドからサファイアにしたときの構造を図3に示す。サファイア基板1000を用いた場合は、n型GaInバッファ層102からp型GaInコンタクト層106までをMOCVD法により成長させたあと、p型GaInコンタクト層106表面の所定の位置にマスクを形成してエッチングし、n型電極を形成するためのn型GaInコンタクト層109を露出させる。

【0027】その後、p型GaInコンタクト層106にはp型電極111、n型GaInコンタクト層109にはn型電極を形成してレーザが完成する。

【0028】(実施の形態2) 実施の形態1では、可飽和吸収層をp型クラッド層中に形成していたが、この実施例では、p型光ガイド層104p中に量子井戸の可飽和吸収層200を形成している。その構成とバンドギャップエネルギー図とを図4、5に示す。

【0029】図のように、この半導体レーザは、この体積の小さい量子井戸の可飽和吸収層200を、光ガイド層104p中に配置した構成にしている。光ガイド層中に設ける理由は、前述した通りである。可飽和吸収層を量子井戸にした場合、その膜厚が薄く、体積が小さくとも、光ガイド層中に可飽和吸収層を設けることにより、可飽和吸収層へ有効な光閉じ込めができるので、この構造を導入することにより安定した自励発振を実現できる。

【0030】実施の形態1、2では、活性層は単一の量子井戸構造としたが、図6に示すように、Ga<sub>0.95</sub>Nからなる障壁層と、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなる井戸層との多重量子井戸構造としてもよい。この方が活性層での発光効率が大きくなり、高光出力のレーザとなる。井戸層には、障壁層には、また活性層にはIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0 \leq x \leq 1$ )、クラッド層にはAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0 \leq x \leq 1$ )を用いたが、一般に窒化ガリウム系化合物半導体として、Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N ( $x+y+z=1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ )を用いることができる。

【0031】(実施の形態3) 本実施の形態は、窒素ドーパのn型SiC基板上に、リッジ構造のレーザを形成したものである。基板には、炭化珪素(SiC)基板を用いて、SiCは、窒素ドーピングによりn型となっているので、基板裏面に電極を形成できる。よって、電極形成のために、基板上にエピタキシャル成長させた半導体層をエッチングする必要はない。以下、SiC基板を用いたGa<sub>0.95</sub>N系半導体発光素子について説明する。

【0032】図8に示すように、n型SiC基板702上に、有機金属気相成長(MOVPE)法を用いて半導体層の気相成長を行う。まず気相成長に先立ち、6HSiC基板701を反応炉内のサセプター上に設置し、真空排気した後、70Torrの水素雰囲気において1050℃で15分間加熱し、基板表面のクリーニングを行う。ここで用いたSiC基板は(0001)面の面方位から3.5度、[11-20]方向に傾斜した基板である。

【0033】次に基板温度を1000℃に降温した後、アンモニアを2.5L/分の流量で1分供給し、基板表面を窒化した後、トリメチルアルミニウム(TMA)を10μmol/分、アンモニアを2.5L/分、モノシラン(水素ベース50ppm)を10cc/分、キャリア水素を2L/分それぞれ流してn型AlNバッファ層703を200nm堆積する。バッファ層をn型としたのも、基板にn型電極を形成しても、電気抵抗が高くないようにするためである。n型AlNバッファ層は、1000℃の高温で堆積しているため、結晶欠陥が少なくほぼ単結

晶となっている。

【0034】次に、トリメチルアルミニウム(TMA)の流量を2μmol/分に変更すると同時に、さらにトリメチルガリウム(TMG)を20μmol/分、モノシラン

(水素ベース50ppm)を10cc/分、追加して供給し、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層704を堆積する。

【0035】次に、TMAの供給のみを停止し、n-GaNガイド層705nを堆積した後、TMG及びモノシランの供給のみを停止し、アンモニアと水素の混合雰囲気中で700℃に降温して一定温度になった後、トリメチルインジウム(TMI)を200μmol/分、TMGを20μmol/分供給して、アンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N井戸層705wを3nm堆積する。n-GaNガイド層と同じ条件で、アンドープGa<sub>0.95</sub>N障壁層705bを3nm成長し、井戸層と障壁層との繰り返しにより、Ga<sub>0.95</sub>N障壁層とIn<sub>0.05</sub>GaN井戸層との多重量子井戸構造とする。

【0036】多重量子井戸構造の最後の井戸層を形成したあと、TMGを20μmol/分さらにシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp<sub>2</sub>Mg)を0.1μmol/分供給してp-GaNガイド層705pを堆積する。

【0037】次に、さらにTMAを前記n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層と同流量で追加し、p-AlGa<sub>0.9</sub>N第1のクラッド層706aを堆積し、基板温度を600℃に下げ再びTMG、TMI及びCp<sub>2</sub>Mgを供給してp-In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N可飽和吸収層700を成長させる。さらに、第1のクラッド層と同条件で、p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N第2のクラッド層706bを成長させる。

【0038】その後、p-AlGa<sub>0.9</sub>Nクラッド層上に、SiO<sub>2</sub>マスクを形成し、塩素ガスおよび水素ガスの混合ガスをエッチングガスとして、ドライエッチングを行う。p-AlGa<sub>0.9</sub>N第2のクラッド層706bは、p-InGa<sub>0.95</sub>N可飽和吸収層700までエッチングするが、ドライエッチングで第2のクラッド層706bをすべてエッチング除去するのではなく、のこり0.2ミクロンまで一旦ドライエッチングを停止し、ウエハをドライエッチング装置から取り出して、100度に温めた濃りん酸に浸し、ドライエッチングで生じたダメージ層を含む、残りの0.2ミクロンを除去する。このようにして、p-AlGa<sub>0.9</sub>N第2のクラッド層を、まずはドライエッチングで除去したあと、引き続いてウェットエッチングで除去することで、リッジの両側の可飽和吸収層のダメージを防止できる。

【0039】この可飽和吸収層700はエッチングストップ層としても機能する。この層は、Alを含んでいないので、濃りん酸にはエッチングされにくく、第2のクラッド層706bと可飽和吸収層700との選択比をとることはできる。

【0040】この後、SiO<sub>2</sub>マスクをそのまま用いて、n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N電流ブロック層707を、第2のクラッド層706bからなるリッジの両側に選択成長す



る。n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N電流ブロック層は、p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N第2のクラッド層、第1のクラッド層よりも、Alの組成が大きく、屈折率は小さい。したがって、よって、光は、屈折率の高いp-AlGa<sub>0.9</sub>N第2クラッド層706bの下に閉じこもりやすく、屈折率導波となり、安定した横モードが実現できる。また、レーザー光は電流ブロック層での吸収もほとんどないため、高い出力のレーザとしても有望である。

【0041】SiO<sub>2</sub>マスクを除去し、p型Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層705pと同じ条件で、p型Ga<sub>0.9</sub>Nキャップ層708を成長し、さらに、p型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層709を堆積する。p型コンタクト層は、p型キャップ層よりも、高濃度に不純物をドーピングしており、その濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ である。

【0042】ここでは、p型コンタクト層709をp型Ga<sub>0.9</sub>Nとしたが、Ga<sub>0.9</sub>Nよりバンドギャップの小さいInGa<sub>0.9</sub>Nを用いて、p型電極とのオーミック接触を取り易くすることもできる。そうするには、基板温度を600℃にして、TMG、TMI及びCp<sub>2</sub>Mgを供給して、p-InGa<sub>0.9</sub>Nを堆積する。p-Ga<sub>0.9</sub>Nキャップ層708の堆積後に、バンドギャップの小さいp-InGa<sub>0.9</sub>N709を堆積することにより、p型電極(Pt)とのショットキー障壁を低減させることができ、抵抗の低減が実現できる。

【0043】p-InGa<sub>0.9</sub>Nは、p-InGa<sub>0.9</sub>Nを堆積後、500℃の70 Torr減圧水素雰囲気中で熱処理を行うことにより実現できる。熱処理効果としては、減圧の水素雰囲気であれば400℃以上の熱処理でp型の活性化ができ、窒素原子の解離を抑制することを考慮すると熱処理温度は、好ましくは500℃の低温がよい。最後にアンモニアと水素の混合雰囲気中で500℃まで冷却し、この温度でアンモニアの供給を停止し、水素雰囲気中で5分間熱処理を行う。

【0044】最後に、n型SiC基板702側にTiを用いてn型電極701を、p型コンタクト層709側に、Pt電極を用いてp型電極1412を形成する。Ptを選んだ理由は、Ptは仕事関数が大きく、p型Ga<sub>0.9</sub>Nやp-InGa<sub>0.9</sub>Nのp型コンタクト層709との障壁を小さくするためである。Ptのほか、NiとPtの組み合わせでもよい。Niは剥がれにくく、密着性の高い金属なので、この層を介してPtを積んだ方が電極の信頼性も高くなる。

【0045】以上のようにして完成したレーザ構造のウェハを、レーザバーにへきかいする。へき開前に、SiC基板はあらかじめ裏面から研磨され、200ミクロンになっている。へきかいするためには、SiC基板は、200~300ミクロン程度にしておくのが好ましい。300ミクロンより大きいとへきかいのために大きな応力が必要となり、また200ミクロンより小さいと、へきかいする場所以外のところも割れてしまう可能性があるからである。

【0046】へきかい時のへきかいの方向は、SiC基板はジャスト基板ではなく、傾斜基板を用いているので、応力をかける方向に注意する必要がある。

【0047】図9において、共振器端面の結晶構造を模式的にあらわした図である。A-Bは基板表面であり、階段状になっているのは原子ステップである。この基板は、(0001)面の面方位から3.5度、[11-20]方向に傾斜していることがわかる。図10は、このレーザの構成斜視図であり、基板が面方位が(0001)面の面方位から3.5度、[11-20]方向に傾斜している。すなわち、この基板は、図9、図10に示すように(0001)面の面方位から[11-20]方向へ3.5度傾いているので、B方向からA方向に応力をかけて結晶をへきかいする。その理由は、Aから応力をかけると、図9のようにB方向に向かっていった割れが途中から(0001)面方向に進んでしまい、へきかいによる不良となり、歩留まりを落とすからである。したがって、へきかいはBの方向からA方向に向かって行うのである。これは、SiC基板に限らず、GaAs等の半導体基板についての傾斜基板にいえることである。ジャスト面(ここでは、(0001)面)と傾斜基板面との角度が小さくなる方向(ここではB)から、傾斜している方向に向かって応力をかけてへき開するのである。

【0048】へきかいして端面を形成した後、共振器端面をコーティングする。端面側から、 $\lambda/4$ の膜厚のSiO<sub>2</sub>膜と $\lambda/4$ の膜厚のSiN膜を1周期として、3周期積層し、反射率を70パーセントとした。SiO膜およびSiN膜の積層には、ECRスパッタ法を用いた。

【0049】完成したレーザ素子に電流注入を行いレーザ発振させると従来30V程度であった動作電圧が5Vまで低減できた。

【0050】本実施の形態のように、n型SiC基板702上に、高温で堆積した低抵抗なn型Al<sub>0.9</sub>Nバッファ層703を用いることによって、従来のようなp型コンタクト層側からエッチングを行ってn側電極を形成する必要がなく、導電型の基板裏面に電極を形成すればよい。

【0051】基板としてSiC傾斜基板を用いた理由について説明する。本実施の形態では、n型SiC基板を、(0001)から[11-20]方向に3.5度傾斜した研磨した基板を用いている。これは、SiC上に、特にAlGa<sub>0.9</sub>N混晶を堆積する場合に、その表面の平坦性を良好にするためである。図11は、横軸にAlGa<sub>0.9</sub>NのAlの組成、縦軸にAlGa<sub>0.9</sub>Nの表面ラフネスをとった結果である。点線は、(0001)ジャスト基板を用いた場合であり、実線は、3.5度の傾斜基板を用いた場合である。縦軸の値が大きくなるほど、ラフネスが大きくなり、表面の平坦性に欠けることになる。この実験結果の比較により、傾斜基板を用いるとAl組成が30

%程度に大きくなっても良好な表面が得られることがわかった。

【0052】つぎに、傾斜角度を横軸に、表面ラフネスを縦軸にとった結果を図12に示す。表面ラフネスは、傾斜角度がつくにしたがい小さくなり、1度から18度程度までは平坦性を保つことがわかった。特に傾斜角度が、5度から15度までが、次に示すp型ドーパントの取り込まれ率もよいことがわかっている。

【0053】さらに、p型AlGaIn層を作製する場合、(0001) ジャスト基板を用いるとAl組成の増加にともないp型ドーパントであるMgの取り込まれ率が低下し、素子の抵抗が高くなるということがわかった。本実施の形態のように、傾斜基板を用いると図13に示すように、Mgの取り込まれ率がジャスト基板より高くなる。縦軸は、ドーパントであるMgのAlGaInへの取り込まれ率を示し、横軸は、AlGaInのAl組成を示している。この図より、Al組成が増加するにしたがい、ジャスト基板では、Mgの取り込まれ率が低下するが、傾斜基板を用いた場合は、取り込まれ率が低下しないことがわかった。この傾向は、ドーパントにMgを用いた場合に限らず、Zn、C、Caを用いても同様である。

【0054】これによりp型ドーパントの濃度を大きくできるので、発光素子の動作電圧の低減が可能となる。

【0055】なお、本実施例では、傾斜基板を用いているが、もちろん(0001) ジャスト基板を用いても、n型AlInバッファ層を用いることによって、抵抗を小さくできるので、発光素子の動作電圧の低減には効果がある。

【0056】この実施の形態では、可飽和吸収層として、p型InGaIn層を用いているが、n型InGaIn層を用いてもよい。この時の構造断面は、図14に示すようになる。つまり、p-AlGaInクラッド層中に可飽和吸収層が挿入されている。

【0057】p型可飽和吸収層に比べて、n型可飽和吸収層は、不純物濃度を $1 \times 10^{20}$ 程度まで高くできるので、可飽和吸収層で吸収した光によるキャリアの寿命を短くできるので、安定した自励発振特性を実現できる。n型可飽和吸収層に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上の不純物をドーピングしたときは、可飽和吸収層と活性層のエネルギーギャップ差は、 $0 \sim 180 \text{ meV}$ であればよい。このエネルギーギャップ量だけ、可飽和吸収層のエネルギーギャップが小さければよい。

【0058】また、n型のための不純物はシリコンを用いるが、シリコンは、拡散度が小さく、不純物濃度の急峻性を保ったままであり、長時間の使用にも十分耐えられる信頼性の高いデバイスとなる。

【0059】さらにこの実施の形態では、第1のp型クラッド層の屈折率が電流ブロック層よりも大きいという屈折率導波型をとっているが、逆に、電流ブロック層を

屈折率が高い材料としたり、電流ブロック層にたとえば、ZnOのように $380 \sim 450 \text{ nm}$ の光を吸収する層を用いて、活性層の横方向に実効的に屈折率差を設けて、リッジ直下の活性層に光を閉じ込める構造も考えられる。

【0060】(実施の形態4) 第4の実施の形態による半導体レーザの構造断面を図15(a)に示す。

【0061】「0001」から[11-20]方向に3.5度傾斜したn型SiC基板1502上に、n型AlInバッファ層1503(厚さ $100 \text{ nm}$ )、n型Al $_{1-x}$ Ga $_x$ Inクラッド層1504(厚さ $1 \mu\text{m}$ )がある。AlInの組成比 $x$ が大きくなる程AlGaInのエネルギーギャップは大きくなり、屈折率は小さくなる。

【0062】発振波長を決めると活性層1505(厚さ $50 \text{ nm}$ )のIn $_z$ Ga $_{1-z}$ NのInNの組成比 $z$ が決まり、それに対して $x$ の値を決めることになる。発振波長を $410 \text{ nm}$ (紫色)にすると $z=0.15$ となり、 $x$ は0.1から0.2程度を用いることになる。

【0063】活性層105の上にはp型Al $_y$ Ga $_{1-y}$ N第1のクラッド層1506(厚さ $0.2 \mu\text{m}$ )、p型In $_{0.2}$ Ga $_{0.8}$ N可飽和吸収層1500およびn型Al $_u$ Ga $_{1-u}$ N電流ブロック層1507があり、1507には1から $10 \mu\text{m}$ の幅で可飽和吸収層1500に達する開口部が形成されている。n型電流ブロック層1507の厚さは $0.7 \mu\text{m}$ である。電流はこのn型電流ブロック層1507に阻まれて開口部のみに流れ、開口部直下の活性層1505のみに流れるようにしている。

【0064】開口部内とn型電流ブロック層上にはp型Al $_v$ Ga $_{1-v}$ N第2のクラッド層(狭窄層上の厚さ $0.5 \mu\text{m}$ )がある。ここで、 $u > y, v$ になるようにすることによりブロック層1507の屈折率が、第1のクラッド層106、第2クラッド層108の屈折率より小さくなるので、活性層に平行方向に光が閉じ込められて屈折率差による光導波となり、収差のないレーザー光が得られる。

【0065】屈折率差は、開口部の幅も考慮して決定するが、本実施の形態のように、開口部幅が $1 \sim 8 \mu\text{m}$ であれば、開口部直下の活性層と、狭窄層下の活性層との屈折率差(活性層の実効屈折率差)は、 $0.003 \sim 0.02$ の範囲にあることが好ましい。その理由は、屈折率差が大きすぎると、高次のモードが立つようになり、また、屈折率差が小さすぎると、光が広がってしまうからである。

【0066】第2のp型クラッド層1508の上には、p型GaInキャップ層1509(厚さ $0.5 \mu\text{m}$ )、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上の不純物濃度のp型GaInコンタクト層1510(厚さ $0.5 \mu\text{m}$ )があり、電極101と111がn側とp側に各々形成されている。電極材料はn側がTiとAuで、p側がNiとAuである。またn型層の不純物はSi、p型層の不純物はMgである。



【0067】開口部の幅とp型クラッド層と狭窄層の屈折率差が、活性層に閉じ込められる光の強度分布を決定するので、適当な値に設定する必要がある。本実施例では開口部の幅は $2\mu\text{m}$ で狭窄層のAlN組成比は $u=0.25$ とした。また、 $y$ と $v$ の値は $x$ と同じ $0.15$ である。

【0068】このようにすることで、pクラッド層1506、1508 (Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N)と、ブロック層1507 (Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N)により、活性層に平行方向のレーザ光が、屈折率分布で活性層に閉じ込められ 10 シングルモードとなり、しきい値電流が低く、収差のないレーザ光が得られるGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系半導体レーザー装置を実現できる。

【0069】本実施例では、(0001)から[11-20]方向に3.5度傾斜基板を用いている。これは、SiC上に、特にAlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N混晶を堆積する場合に、その表面の平坦性を良好にするためである。(0001)ジャスト基板を用いた場合に比べて、傾斜基板を用いた場合の方が、結晶表面の平坦性がよくなるからである。特に傾斜角度が、3度から12度までが、平坦性が格段によ 20 くなる。

【0070】なお、本実施例では、傾斜基板を用いているが、もちろん(0001)ジャスト基板を用いてもよい。

【0071】本発明の別の実施例ではブロック層1507にZnOを用いる。ZnOはGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nと格子定数が近いので結晶成長を行うことが出来る。またZnOは絶縁体であること、さらに、活性層で発生する青色レーザー光を吸収するので、活性層の平行方向に実効的に屈折率差をつけることが出来る。この場合も、リッジ直下の活性 30 層とリッジの外側の活性層との屈折率差は、 $0.003\sim 0.02$ の範囲にあることが好ましい。ZnO以外でも、レーザー光を吸収して、活性層の平行方向に屈折率差がつき、かつ、電流をブロックしてリッジに電流を流すことのできるものであれば、狭窄層に用いることができる。

【0072】さらに、活性層のレーザ光を吸収するように、活性層よりもバンドギャップの小さい層をブロック層に用いて、活性層に平行方向に実効的に屈折率差をつけることもできる。例えば、活性層にIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N ( $0<a<1$ )を用いたときに、この層よりもバンドギャップの小さい層である、In<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N ( $0<a<b<1$ )をブロック層に用いることにより、活性層の光を吸収する層が実現できる。しかも、このブロック層の導電型をn型とすることで、電流をリッジ部に集中させ、活性層での電流広がりがないようにもすることができる。

【0073】また活性層は、InGa<sub>0.5</sub>Nを用いた場合について説明しているが、図15(b)のように、n型クラッド層1504とp型第1のクラッド層1506との 50

間は、活性層1505として、n型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N光ガイド層1505n、InGa<sub>0.5</sub>N井戸層1505n、Ga<sub>0.5</sub>N障壁層1505bとp型Ga<sub>0.5</sub>N層1505pとにより構成される多重量子井戸構造であってもよい。

【0074】(実施の形態5)有機金属気相成長(MOVPE)法を用いて結晶成長を行う。すなわち、まず気相成長に先立ち、サファイアC面基板を反応炉内のサセプター上に設置し、真空排気した後70Torrの水素雰囲気において1050℃で15分間加熱し基板表面クリーニングを行う。

【0075】次に600℃まで冷却した後、アンモニアを2.5L/分の流量で1分供給し、基板表面を窒化した後、トリメチルガリウム(TM<sub>0.5</sub>G)

【0076】次にTMGの供給のみを停止し、温度を950℃まで昇温した後、TMGを20μmol/分供給してGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N単結晶の核層を形成する。

【0077】次にTMGを供給しながら基板温度を1050℃、1090℃に段階的に昇温してGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N単結晶層を形成する。次に、さらにモノシラン(水素ベース50ppm)を10cc/分、トリメチルアルミニウム(TMA)を2μmol/分追加して供給し、n-AlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nクラッド層を堆積する。

【0078】次に、TMG、TMA及びモノシランの供給のみを停止し、アンモニアと水素の混合雰囲気中で700℃に降温して一定温度になった後、トリメチルインジウム(TMI)を200μmol/分、TMGを20μmol/分供給して、InGa<sub>0.5</sub>N混晶の活性層1605を10nm堆積する。

【0079】次に、TMA、TMGを前記と同流量で、さらにシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp<sub>2</sub>Mg)を0.1μmol/分供給してp-AlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N第1のp型クラッド層1606aを堆積した後、また活性層を堆積したのと同じ条件で、次に、TMG及びCp<sub>2</sub>Mgの供給を停止し、基板温度を600℃に下げ再びTMG、TMI及びCp<sub>2</sub>Mgを供給してp-InGa<sub>0.5</sub>N可飽和吸収層を堆積する。p型InGa<sub>0.5</sub>N可飽和吸収層1600を堆積する。In組成は、活性層よりも大きくしている。

【0080】さらにこの可飽和吸収層の上に、第1のp型クラッド層と同じ条件で、p-AlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nクラッド層1606bを堆積する。この後は、実施の形態3で述べたように、SiO<sub>2</sub>マスクを形成してp-AlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nクラッド層からなるリッジ構造を形成する。エッチングについては、実施の形態3で説明したのと同様である。

【0081】このようにしてリッジを形成し、電流ブロック層1607で埋め込んだあと、SiO<sub>2</sub>マスクを除去して、p-GaNキャップ層1608、p型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nコンタクト層1609を堆積する。これにより、サファイア基板を用いても、電流狭窄型のレーザ構造を作製することができる。

【0082】（実施の形態6）サファイア基板を用いて、第2のp型クラッド層に電流を通す開口部を設けたレーザは図17のようになる。

【0083】基板1702としてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（サファイア）を用い、バッファ層1703にはGa<sub>0.5</sub>N層（厚さ100nm）を用いている。後の構成は、図15を同じである。

【0084】n型クラッド層1704を2μmと厚くし、リッジのない部分をn型クラッド層1704が厚さ1μmになるまでエッチングして露出させ、n型電極1701を形成している。活性層1705に平行方向の屈折率差も、開口部の下が高くなっている。活性層に平行方向の屈折率差は、0.003～0.02の範囲にあることが好ましい。

【0085】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、窒化ガリウム系化合物半導体を用いることにより、短波長の領域で安定した自励発振特性を有する半導体発光素子を得ることができる。さらに可飽和吸収層を用いることにより、短波長の領域で、安定した自励発振特性を得ることができる。また可飽和吸収層と活性層とのエネルギーギャップを制御することにより、確実に短波長域で自励発振特性のレーザを実現できる。その結果、相対雑音強度の低い半導体レーザを実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例の半導体レーザの構造断面図

【図2】第1の実施例のバンドギャップエネルギー図

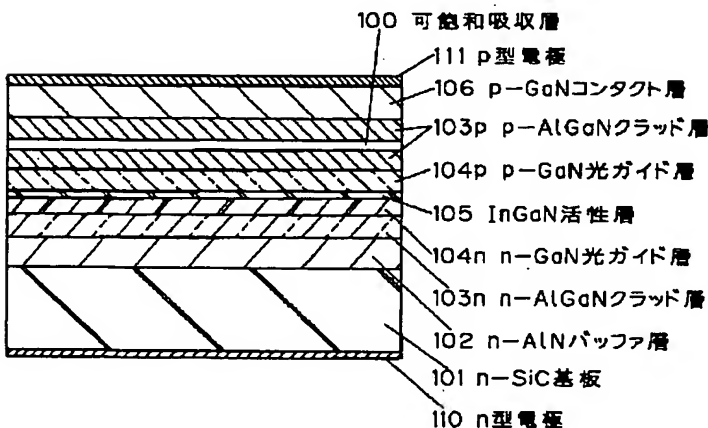
【図3】第1の実施例で基板をサファイアにした場合の構造断面図

【図4】第2の実施例の半導体レーザの構造断面図

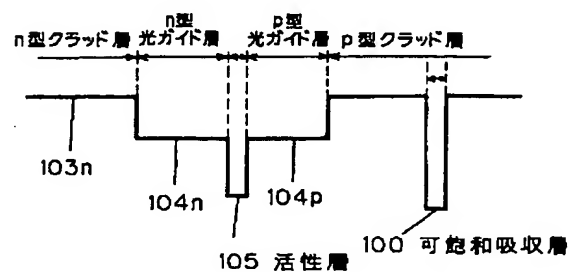
【図5】第2の実施例のバンドギャップエネルギー図

【図6】他の実施例の半導体レーザの構造断面図

【図1】



【図2】



【図7】本発明の実施の形態の半導体レーザの構造断面図

【図8】本発明の実施の形態の半導体レーザの製造工程断面図

【図9】へき開方向を説明する断面図

【図10】へき開方向を説明する断面図

【図11】炭化珪素基板を用いた場合のAlGaIn表面ラフネスとAl組成との関係を示す図

【図12】炭化珪素基板の傾斜角度とAlGaIn表面ラフネスとの関係を示す図

【図13】炭化珪素基板を用いた場合のAlGaIn中のMgの取り込まれ率とAl組成との関係を示す図

【図14】本発明の実施の形態の半導体レーザの構造断面図

【図15】本発明の実施の形態の半導体レーザの構造断面図

【図16】本発明の実施の形態の半導体レーザの構造断面図

【図17】本発明の実施の形態の半導体レーザの構造断面図

【符号の説明】

100 可飽和吸収層

101 n型SiC基板

102 n型AlInバッファ層

103n n型AlGaInクラッド層

103p p型AlGaInクラッド層

104n n型GaN光ガイド層

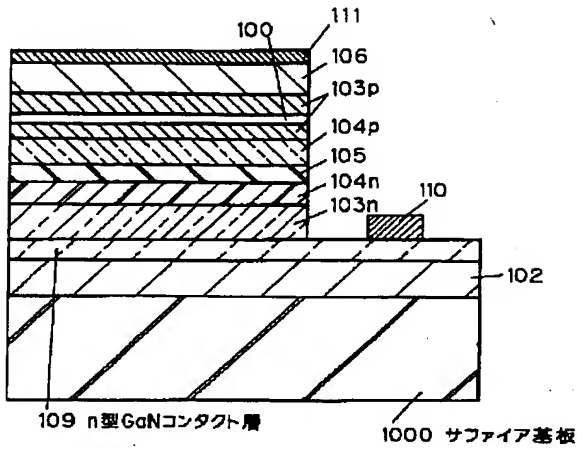
104p p型GaN光ガイド層

105 InGaIn活性層

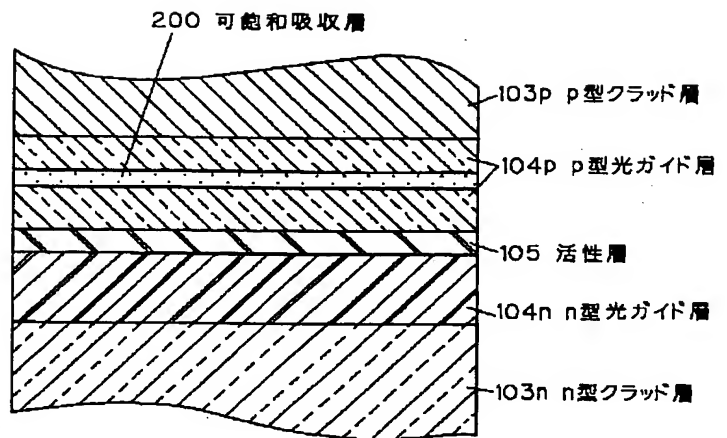
106 GaNコンタクト層

200 可飽和吸収層

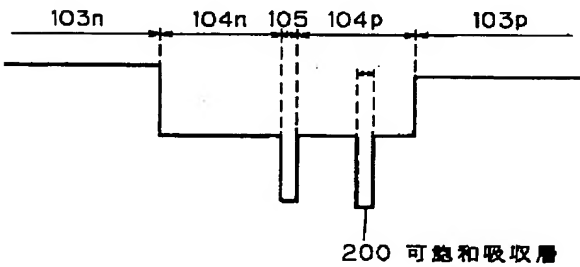
【図3】



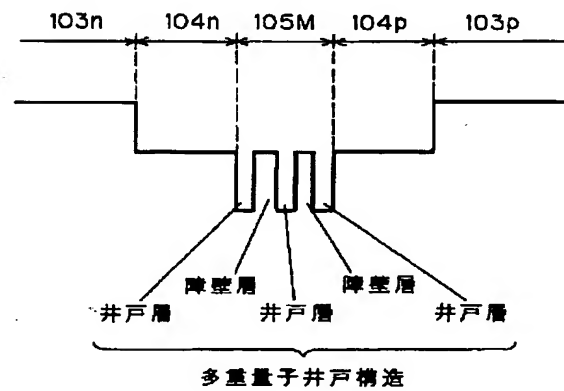
【図4】



【図5】

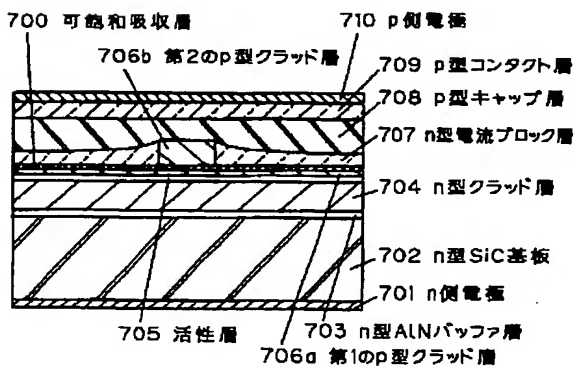


【図6】

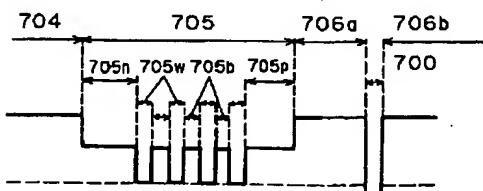


【図7】

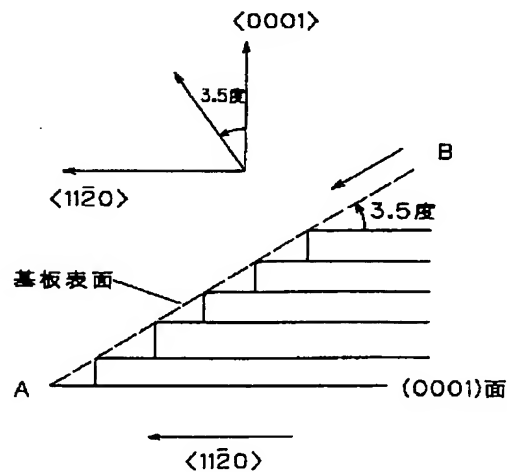
(a)



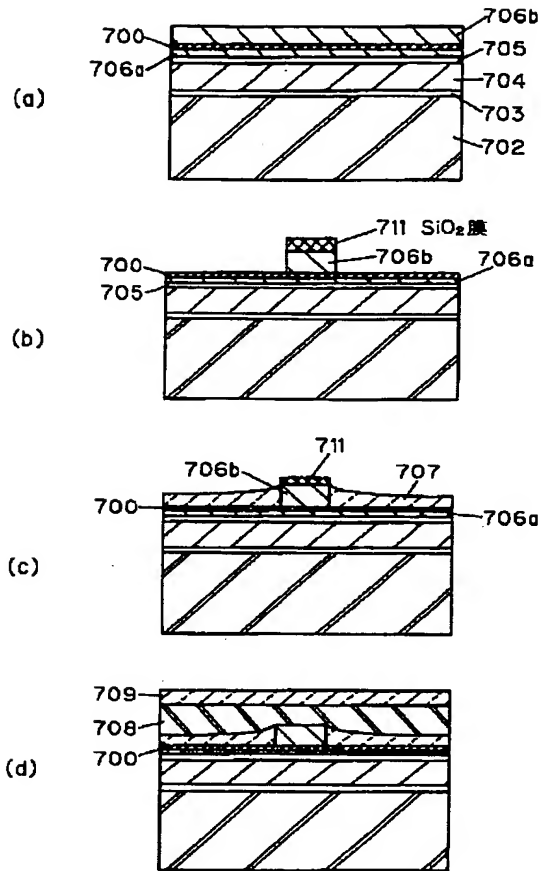
(b)



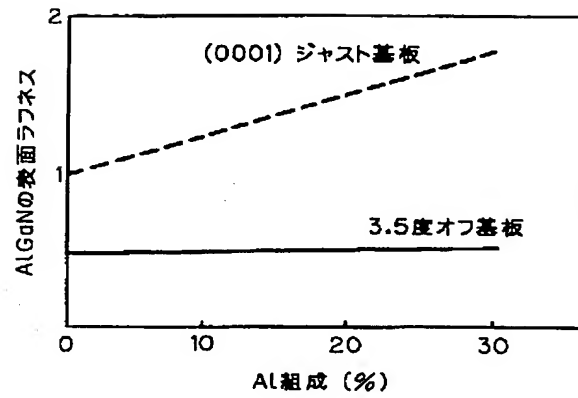
【図9】



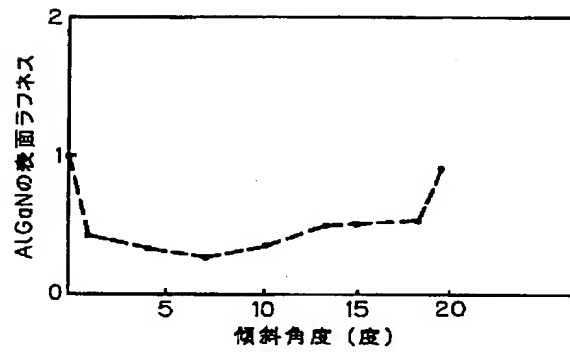
【図8】



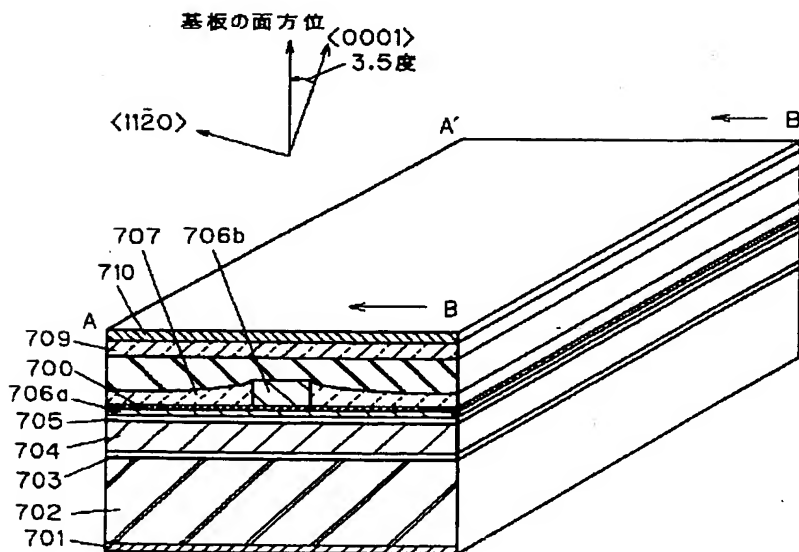
【図11】



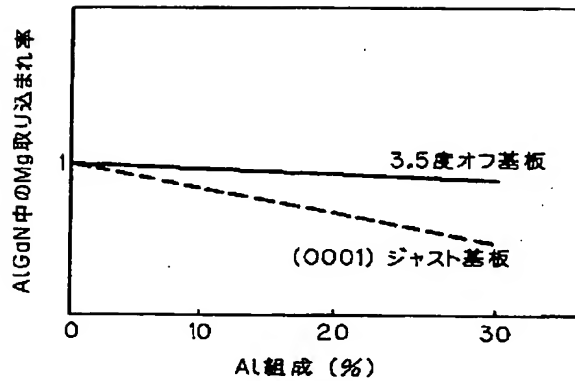
【図12】



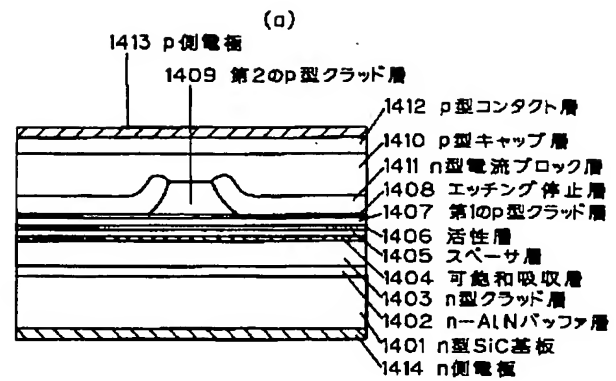
【図10】



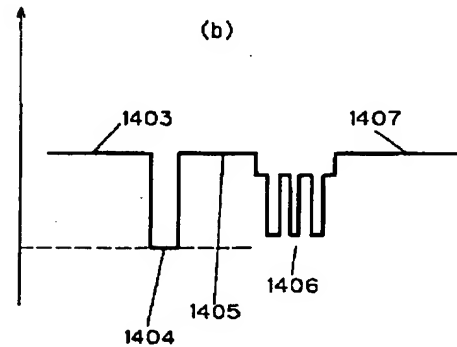
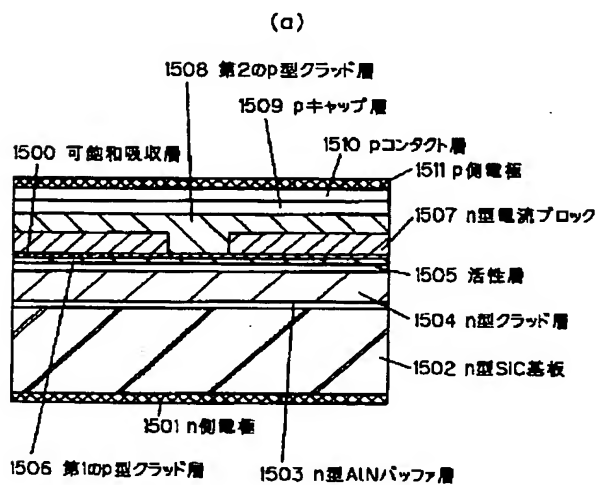
【図 1 3】



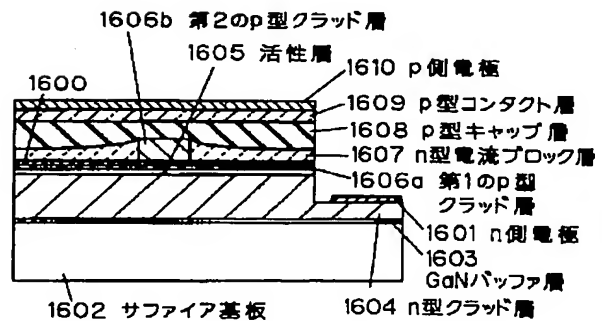
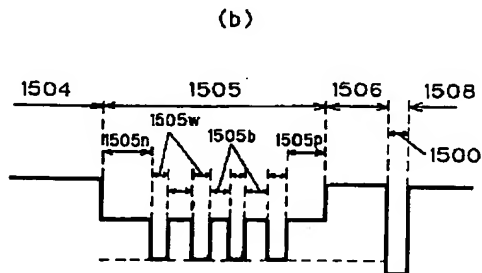
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



1708 第2のpクラッド層

1707 n型電流ブロック層

1711 p側電極

1710 pコンタクト層

1709 pキャップ層

1700 可飽和吸収層

1705 活性層

1701 n側電極

1704 n型クラッド層

1703 パッファ層

1702 基板

1706 第1のp型クラッド層

(72)発明者 桑 雅博  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 石橋 明彦  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内